

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平3-179939

⑬ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成3年(1991)8月5日

H 04 B 10/04
10/06

8523-5K H 04 B 9/00

L

審査請求 未請求 請求項の数 20 (全 16 頁)

⑮ 発明の名称 多相位相変調器

⑯ 特 願 平1-317580

⑰ 出 願 平1(1989)12月8日

⑱ 発 明 者 渡 辺 茂 樹 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社
内

⑲ 発 明 者 内 藤 崇 男 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社
内

⑳ 発 明 者 近 間 輝 美 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社
内

㉑ 出 願 人 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

㉒ 代 理 人 弁理士 松 本 昂

明 細 書

1. 発明の名称

多 相 位 相 変 調 器

2. 特許請求の範囲

(1) 搬送光の位相をそれぞれ π 、 $\pi/2$ シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切換える2個の2相位相変調器(2-1, 2)を接続接続してなる多相(4相)位相変調器。

(2) n は2以上の自然数とするときに、搬送光の位相をそれぞれ $2\pi/2^k$ (k は $1 \leq k \leq n$ を満足する自然数)シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切換える n 個の2相位相変調器(2-1, 2, ..., n)を接続接続してなる多相(2^n 相)位相変調器。

(3) 搬送光を2分岐する分岐手段(4)と、該分岐手段(4)により分岐された搬送光のうちのいずれか一方の搬送光の位相を $\pi/2$ シフトさせる位相シフタ(6)と、

上記分岐手段(4)により分岐された搬送光のうちの他方の搬送光の位相を π シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切換える2相位相変調器(8-1)と、

上記位相シフタ(6)により位相シフトされた搬送光の位相を π シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切換える2相位相変調器(8-2)と、

該2個の2相位相変調器(8-1, 2)からの光を合流させる合流手段(10)とを備えた多相(4相)位相変調器。

(4) n は2以上の自然数とするときに、

搬送光を 2^{n-1} 分岐する分岐手段(12)と、

該分岐手段(12)により分岐された搬送光の位相をそれぞれ、

$2\pi(l-1)/2^n$ (l は $1 \leq l \leq 2^{n-1}$ を満足する自然数)

シフトさせる 2^{n-1} 個の位相シフタ(14-1, 2, ..., 2^{n-1})と、

該位相シフタ(14-1, 2, ..., 2^{n-1})により位相シフトされた搬送光の位相を π シフトさせる状態とシ

特開平 3-179939(2)

フトさせない状態とを切換える 2^{n-1} 個の 2 相位相変調器(8-1, 2, ..., 2^{n-1})と、

該 2^{n-1} 個の 2 相位相変調器(8-1, 2, ..., 2^{n-1})からの光を合流させる合流手段(16)とを備えた多相 (2^n 相) 位相変調器。

(5) n は 2 以上の自然数とするときに、

搬送光を 2^{n-1} 分岐する分岐手段(12)と、

該分岐手段(12)により分岐された搬送光の位相を π シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切換える 2^{n-1} 個の 2 相位相変調器(8-1, 2, ..., 2^{n-1})と、

該 2 相位相変調器(8-1, 2, ..., 2^{n-1})からの光の位相をそれぞれ、

$2\pi(l-1)/2^n$ (l は $1 \leq l \leq 2^{n-1}$ を満足する自然数)

シフトさせる 2^{n-1} 個の位相シフタ(14-1, 2, ..., 2^{n-1})と、

該 2^{n-1} 個の位相シフタ(14-1, 2, ..., 2^{n-1})からの光を合流させる合流手段(16)とを備えた多相 (2^n 相) 位相変調器。

- 3 -

のいずれか一方の搬送光の位相を $\pi/2^n$ シフトさせる位相シフタ(22)と、

上記分岐手段(4)により分岐された搬送光のうちの他方の搬送光と上記位相シフタ(22)により位相シフトされた搬送光とをそれぞれ 2^n 相位相変調する請求項 2, 4 又は 5 に記載の多相 (2^n 相) 位相変調器その他の多相 (2^n 相) 位相変調器(20-1, 2)と、

該 2 個の多相 (2^n 相) 位相変調器(20-1, 2)からの光を合流させる合流手段(10)とを備えた多相 (2^{n+1} 相) 位相変調器。

(9) n は 2 以上の自然数とするときに、

搬送光を 2 分岐する分岐手段(4)と、

該分岐手段(4)により分岐された搬送光をそれぞれ 2^n 相位相変調する請求項 2, 4 又は 5 に記載の多相 (2^n 相) 位相変調器その他の多相 (2^n 相) 位相変調器(20-1, 2)と、

該 2 個の多相 (2^n 相) 位相変調器(20-1, 2)からの光のうちのいずれか一方の光の位相を $\pi/2^n$ シフトさせる位相シフタ(22)と、

- 5 -

(6) n は 2 以上の自然数とするときに、

搬送光を 2^{n-1} 分岐する分岐手段(12)と、

該分岐手段(12)により分岐された搬送光のいずれか一つ又は複数に作用する請求項 4 に記載の位相シフタ(14)及び 2 相位相変調器(8)と、

該いずれかの搬送光以外の搬送光に作用する請求項 5 に記載の 2 相位相変調器(8)及び位相シフタ(14)と、

各分岐光を合流させる合流手段(16)とを備えた多相 (2^n 相) 位相変調器。

(7) n は 2 以上の自然数とするときに、

搬送光の位相を $\pi/2^n$ シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切換える 2 相位相変調器(18)と、

請求項 4 又は 5 に記載の多相 (2^n 相) 位相変調器その他の多相 (2^n 相) 位相変調器(20)とを縦続接続してなる多相 (2^{n+1} 相) 位相変調器。

(8) n は 2 以上の自然数とするときに、

搬送光を 2 分岐する分岐手段(4)と、

該分岐手段(4)により分岐された搬送光のうち

- 4 -

上記 2 個の多相 (2^n 相) 位相変調器(20-1, 2)からの光のうちの他方の光と上記位相シフタ(22)からの光とを合流させる合流手段(10)とを備えた多相 (2^{n+1} 相) 位相変調器。

(10) 請求項 1 又は 2 に記載の多相位相変調器において、

電気光学結晶からなる導波路基板(32)に光導波路(34)が形成され、

該光導波路(34)に電極(36)を装架して上記 2 相位相変調器(2-1, 2, ..., n)が構成され、

上記電極(36)に印加する電圧を変化させることにより当該 2 相位相変調器がなされることを特徴とする多相位相変調器。

(11) 請求項 10 に記載の多相位相変調器において、

上記電極(36)への電圧の印加を上記光導波路(34)の伝搬光の遅延時間に応じて遅延させる遅延回路(40)を備えたことを特徴とする多相位相変調器。

(12) 請求項 3 に記載の多相 (4 相) 位相変調器において、

- 6 -

特開平 3-179939(3)

電気光学結晶からなる導波路基板(32)にマッハツェンダ型光導波路(44)が形成され、

該マッハツェンダ型光導波路(44)の2つの分岐導波路(44a, 44b)のそれぞれに電極(36)を装架して上記2個の2相位相変調器(8-1, 2)が構成され、

上記電極(36)に印加する電圧を変化させることにより当該2相位相変調器がなされることを特徴とする多相(4相)位相変調器。

(13) 請求項12に記載の多相(4相)位相変調器において、

上記電極(36)への電圧の印加を上記分岐導波路(44a, 44b)の伝搬光の遅延時間に応じて遅延させる遅延回路(40)を設けたことを特徴とする多相

(4相)位相変調器。

(14) 請求項12又は13に記載の多相(4相)位相変調器において、

上記電極(36)に印加する電圧のオフセットを異ならせることにより上記位相シフト(6)の機能がなされることを特徴とする多相(4相)位相変調器。

- 7 -

相)位相変調器において、

上記電極(36)に印加する電圧のオフセットを異ならせることにより上記位相シフト(6)の機能がなされることを特徴とする多相(2ⁿ相)位相変調器。

(18) 請求項4乃至6のいずれかに記載の多相(2ⁿ相)位相変調器において、

電気光学結晶からなる導波路基板にスター分岐型光導波路対が形成され、

該スター分岐型光導波路対間の2ⁿ⁻¹本の分岐導波路のそれぞれに電極を装架して上記2ⁿ⁻¹個の2相位相変調器が構成され、

上記電極に印加する電圧を変化させることにより当該2相位相変調器がなされることを特徴とする多相(2ⁿ相)位相変調器。

(19) 請求項18に記載の多相(2ⁿ相)位相変調器において、

上記電極への電圧の印加を上記分岐導波路の伝搬光の遅延時間に応じて遅延させる遅延回路を設けたことを特徴とする多相(2ⁿ相)位相変調器。

- 9 -

(15) 請求項8又は9に記載の多相(2ⁿ⁻¹相)位相変調器において、

上記多相(2ⁿ相)位相変調器(20-1, 2)は請求項2に記載の多相(2ⁿ相)位相変調器であって、

電気光学結晶からなる導波路基板(32)にマッハツェンダ型光導波路(44)が形成され、

該マッハツェンダ型光導波路(44)の2つの分岐導波路(44a, 44b)のそれぞれに電極(36)を装架して上記n個の2相位相変調器(2-1, 2, ..., n)がそれぞれ構成され、

上記電極(36)に印加する電圧を変化させることにより当該2相位相変調器がなされることを特徴とする多相(2ⁿ⁻¹相)位相変調器。

(16) 請求項15に記載の多相(2ⁿ⁻¹相)位相変調器において、

上記電極(36)への電圧の印加を上記分岐導波路(44a, 44b)の伝搬光の遅延時間に応じて遅延させる遅延回路(40)を設けたことを特徴とする多相(2ⁿ⁻¹相)位相変調器。

(17) 請求項15又は16に記載の多相(2ⁿ⁻¹相)位相変調器において、

- 8 -

(20) 請求項18又は19に記載の多相(2ⁿ相)位相変調器において、

上記電極に印加する電圧のオフセットを異ならせることにより上記2ⁿ⁻¹個の位相シフトの機能がそれぞれなされることを特徴とする多相(2ⁿ相)位相変調器。

3. 発明の詳細な説明

目次

要 要	
産業上の利用分野	
従来の技術	
発明が解決しようとする課題	
課題を解決するための手段	
作 用	
実 施 例	
発明の効果	

要 要

コヒーレント光通信の分野において使用するこ

- 10 -

特開平 3-179939(4)

とができる多相位相変調器に関し、

この多相位相変調器を実現することによって、受光器の単位帯域あたりの伝送容量を増大させ又は単位伝送容量に対して必要となる受光器の帯域を狭くさせ、コヒーレント光通信システムの高速・大容量化に寄与することを目的とし、

例えば、搬送光の位相をそれぞれ π 、 $\pi/2$ シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切換える2個の2相位相変調器を縦続接続して4相位相変調器を構成する。

産業上の利用分野

本発明はコヒーレント光通信の分野において使用することができる多相位相変調器に関する。

光通信の分野においては、強度変調された光を直接受光素子により受光して電気信号に変換する強度変調/直接検波方式が一般的である。これに対し、近年、伝送容量の増大、伝送距離の長大化等の要請から、コヒーレント光通信方式の研究が活発化している。コヒーレント光通信方式では、

スペクトル純度の高いレーザ光源からの光を搬送光としてその位相、周波数等を変調し、受信側で受信光と局発光とを混合して例えばヘテロダイン検波を行うようにしている。強度変調/直接検波方式と比較して、受信感度が大幅に改善されるとともに、高密度な光周波数分割多重伝送が可能になる。デジタル信号についての変調方式のうちで最も受信感度が高いものとして、位相シフトキーイング方式(PSK方式)が知られているが、この方式を実施する場合には、搬送光の位相を変調信号に応じてシフトさせる位相変調器が必要であり、高速・大容量化に適した位相変調器の構成が模索されている。

従来の技術

第19図に位相シフトキーイング方式(PSK方式)において用いられる従来の位相変調器の基本構成を示す。この位相変調器は、Zカットx伝播LiNbO₃等からなる電気光学結晶102に、z方向に電界を印加するために電極104、106

- 11 -

- 12 -

6を設け、これら電極104、106に駆動電源108を接続して構成されている。

Zカットx伝播LiNbO₃に $E_1 \cos(2\pi f t)$ なる直線偏光の平面波が入射したとき、結晶中の任意の点における光波の電界は、

$$E(t, x) = E_1 \cos(2\pi f t - \phi) \quad \dots (1)$$

で表される。ここで、 ϕ はz方向に電圧V₀が印加された結晶中を伝播する光波がうける位相シフトである。結晶の厚みをdとすると、常光線(TE光)及び異常光線(TM光)に対する位相変化はそれぞれ次式で与えられる。

常光線(TE光):

$$\phi_y = k_0 n_x x = k_0 x (n_0 - n_0^3 r_{12} V_0 / 2d) \quad \dots (2)$$

異常光線(TM光):

$$\phi_z = k_0 n_x x = k_0 x (n_0 - n_0^3 r_{33} V_0 / 2d) \quad \dots (3)$$

ここにk₀はz方向の波数、n_i(i=x, y, z)は各方向の屈折率、n₀、n_xは常光線及び異常光線に対する屈折率を表す。また、r₁₂、r₃₃は電気光学定数のテンソル成分を表す。

いま、入射光線がz方向に偏光しており、信号

周波数f_mの変調電圧V₀=V_msin(2πf_mt)が印加されたとすると、x=lの出力端における光波の電界は次のようになる。

$$E_x(t, l) = E_1 \cos(2\pi f t - \phi_{0z} + \delta_z \sin 2\pi f_m t) \quad \dots (4)$$

ここに、 ϕ_{0z} は一定の位相シフト量で $\phi_{0z} = k_0 n_x l$ である。また、 $\delta_z \sin 2\pi f_m t$ は印加された変調電圧による光波の位相シフトで、

$$\delta_z = (\pi / \lambda) n_x^3 r_{33} (l / d) V_m \quad \dots (5)$$

である。 δ_z は位相変調指数と呼ばれる。従って、デジタル信号の「0」、「1」に対して例えば $\delta_z \sin 2\pi f_m t$ が0、 π となるように変調駆動することによって、PSK方式が実現される。

即ち、変調光の光波の電界は次のように表すことができる。

$$E(t) = E \cos(2\pi f t + k\pi) \quad (k=0, 1) \quad \dots (6)$$

発明が解決しようとする課題

ところで、第19図に示した従来の位相変調器により2相位相変調された信号光を受信する方式としては、ヘテロダイン方式とホモダイン方式と

- 13 -

- 14 -

特開平 3-179939(5)

その折衷的な位相ダイバーシティ方式とがある。ヘテロダイン方式による場合、光源の位相雑音に対する要求はホモダイン方式程には厳しくないが、一旦マイクロ波帯の中間信号を得てから信号処理を行う必要があるため、受光器に必要な帯域として伝送信号の帯域の数倍（例えば4～5倍）の帯域が必要とされる。このため、受光器の単位帯域あたりの伝送容量が小さく、或いは、単位伝送容量に対して必要となる受光器の帯域が広くなり、高速・大容量化が困難になる。一方、ホモダイン方式或いは位相ダイバーシティ方式による場合、受光器の帯域を信号帯域と同程度にすることができるので高速・大容量化に対しては有利であるが、ホモダイン方式では光源の位相雑音に対する要求が厳しく現状の半導体レーザ技術では実現が困難であり、又、位相ダイバーシティ方式では、受信機の構成が光学的及び電氣的に複雑になるという問題がある。このように、従来の位相変調器による2相位相変調である場合には、高速・大容量化に限度があり、その改善が要望されている。

- 15 -

態とを切替える n 個の2相位相変調器2-1, 2, ..., n を連続接続した構成である。ここで、2相位相変調器2-1, 2, ..., n の接続順序は、 P 通りが考えられるが、そのうちのいずれの接続順序を採用してもよい。

第3図に示された多相(4相)位相変調器は、搬送光を2分岐する分岐手段4と、該分岐手段4により分岐された搬送光のうちのいずれか一方の搬送光の位相を $\pi/2$ シフトさせる位相シフタ6と、上記分岐手段4により分岐された搬送光のうちの他方の搬送光の位相を π シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切替える2相位相変調器8-1と、上記位相シフタ6により位相シフトされた搬送光の位相を π シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切替える2相位相変調器8-2と、該2個の2相位相変調器8-1, 2からの光を合流させる合流手段10とを備えて構成される。

第4図に示された多相(2^n)位相変調器は、 n は2以上の自然数とするときに、搬送光を 2^{n-1} 分岐する分岐手段12と、該分岐手段12により

- 17 -

そこで、本発明ではコヒーレント光通信方式において多相位相変調器を実現することを目的としている。

又、多相位相変調器を導波路基板上に実現することも本発明の目的である。

課題を解決するための手段

第1図乃至第8図は本発明の多相位相変調器のそれぞれ第1乃至第8構成のブロック図である。

第1図に示された多相(4相)位相変調器は、搬送光の位相をそれぞれ π , $\pi/2$ シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切替える2個の2相位相変調器2-1, 2を連続接続した構成である。ここで、2相位相変調器2-1, 2の接続順序としては2通りが考えられるが、いずれの接続順序を採用してもよい。

第2図に示された多相(2^n 相)位相変調器は、 n は2以上の自然数とするときに、搬送光の位相をそれぞれ $2\pi/2^k$ (k は $1 \leq k \leq n$ を満足する自然数)シフトさせる状態とシフトさせない状

- 16 -

分岐された搬送光の位相をそれぞれ、 $2\pi(l-1)/2^n$ (l は $1 \leq l \leq 2^{n-1}$ を満足する自然数)シフトさせる 2^{n-1} 個の位相シフタ14-1, 2, ..., 2^{n-1} と、該位相シフタ14-1, 2, ..., 2^{n-1} により位相シフトされた搬送光の位相を π シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切替える 2^{n-1} 個の2相位相変調器8-1, 2, ..., 2^{n-1} と、該 2^{n-1} 個の2相位相変調器8-1, 2, ..., 2^{n-1} からの光を合流させる合流手段16とを備えて構成される。

尚、第4図においては、搬送光の位相を変化させない($2\pi \cdot 0/2^n$ 変化させる)位相シフタとして位相シフタ14-1が図示されているが、これは表現上の便宜のためである。

第5図に示された多相(2^n 相)位相変調器は、 n は2以上の自然数とするときに、搬送光を 2^{n-1} 分岐する分岐手段12と、該分岐手段12により分岐された搬送光の位相を π シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切替える 2^{n-1} 個の2相位相変調器8-1, 2, ..., 2^{n-1} と、該2相位

- 18 -

特開平 3-179939(6)

相変調器 8-1, 2, ..., 2^{n-1} からの光の位相をそれぞれ、 $2\pi(l-1)/2^n$ (l は $1 \leq l \leq 2^{n-1}$ を満足する自然数) シフトさせる 2^{n-1} 個の位相シフト 14-1, 2, ..., 2^{n-1} と、該 2^{n-1} 個の位相シフト 14-1, 2, ..., 2^{n-1} からの光を合流させる合流手段 16 とを備えて構成される。

尚、第 4、第 5 構成においては、例えば第 20 図に示すように、分岐手段 12 により分岐された搬送光に対して、位相シフトと $0-\pi$ 変調のいずれを先に行うようにしてもよい(第 4、第 5 構成の変形例)。

第 6 図に示された多相 (2^{n-1} 相) 位相変調器は、 n は 2 以上の自然数とするときに、搬送光の位相を $\pi/2^n$ シフトさせる状態とシフトさせない状態とを切替える 2 相位相変調器 18 と、第 4、第 5 構成その他の構成の多相 (2^n 相) 位相変調器 20 とを連続接続して構成される。

第 7 図に示された多相 (2^{n-1} 相) 位相変調器は、 n は 2 以上の自然数とするときに、搬送光を

2 分岐する分岐手段 4 と、分岐手段 4 により分岐された搬送光のうちのいずれか一方の搬送光の位相を $\pi/2^n$ シフトさせる位相シフト 22 と、分岐手段 4 により分岐された搬送光のうちの他方の搬送光と位相シフト 22 により位相シフトされた搬送光とをそれぞれ 2^n 相位相変調する第 2、第 4、第 5 構成その他の構成の多相 (2^n 相) 位相変調器 20-1, 2 と、これら 2 個の多相 (2^n 相) 位相変調器 20-1, 2 からの光を合流させる合流手段 10 とを備えて構成されている。

第 8 図に示された多相 (2^{n-1} 相) 位相変調器は、 n は 2 以上の自然数とするときに、搬送光を 2 分岐する分岐手段 4 と、分岐手段 4 により分岐された搬送光をそれぞれ 2^n 相位相変調する第 2、第 4、第 5 構成その他の構成の多相 (2^n 相) 位相変調器 20-1, 2 と、これら 2 個の多相 (2^n 相) 位相変調器 20-1, 2 からの光のうちのいずれか一方の光の位相を $\pi/2^n$ シフトさせる位相シフト 22 と、上記 2 個の多相 (2^n 相) 位相変調器 20-1, 2 からの光のうちの他方の光と

- 19 -

- 20 -

位相シフト 22 からの光とを合流させる合流手段 10 とを備えて構成されている。

第 6 図～第 8 図に示した第 6～第 8 構成は、 2^n 相位相変調器を用いて相数が倍である 2^{n-1} 相位相変調器を得るものであるから、これらの思想を組み合わせると、相数が一般式 2^N (N は自然数) で表される任意の相数の多相位相変調器を種々の構成で実現することができる。例えば第 9 図に示すように第 6 構成及び第 7 構成を適用して、16 相位相変調器を実現することができる。即ち、第 1 構成に係る 4 相位相変調器 24, 26 を用いて第 7 構成に係る 8 相位相変調器 28 を構成し、この 8 相位相変調器 28 と 2 相位相変調器とを連続接続して第 6 構成に係る 16 相位相変調器 30 を実現したものである。

作 用

多相位相変調として基本的なものとなる 4 相位相変調について説明する。4 相位相変調波は、振幅を 1 とし、次式で表すことができる。

$$S(t) = \cos(2\pi f_c t + k_i(\pi/2)) \quad (k_i = 0, 1, 2, 3) \dots (7)$$

(7) 式では位相の状態が 4 つあるから、2 組のデジタル信号を伝送することができる。この様子(信号スペースダイアグラム)を第 10 図に示す。

今、上記 2 組のデジタル信号をそれぞれ第 1 チャンネルの信号、第 2 チャンネルの信号と呼ぶことにすると、0 相の場合は、第 1 チャンネルを「0」、第 2 チャンネルを「0」に対応づけることができる。これを (0, 0) と表すことにする。以下同様にして、 $\pi/2$ 相は (0, 1)、 π 相は (1, 1)、 $3\pi/2$ 相は (1, 0) と対応づけることができる。この 2 チャンネルのデジタル信号は、位相の直交関係を用いると、互いに独立した関係で伝送することができる。

2 つの互いに直交関係にある搬送波としては、第 11 図に示すように、 $\cos 2\pi f_c t$ と $\sin 2\pi f_c t$ とからなる組み合わせが考えられる。そして、各々の搬送波を別々のデジタル信号で 2 相位相変調する。即ち、第 1 チャンネルのデジタル信号を $\{a_i\}$ とし、第 2 チャンネルのデジタル信号を

- 21 -

- 22 -

特開平 3-179939(7)

{b_i}として以下の信号を得る。

チャンネル1

$$: S_1(t) = \cos(2\pi f_c t + a_i \pi) \quad (a_i = 0, 1) \quad \dots (8)$$

チャンネル2

$$: S_2(t) = \sin(2\pi f_c t + b_i \pi) \quad (b_i = 0, 1) \quad \dots (9)$$

4相位相変調波は(8)、(9)式で表される2つの信号の和として得られるから、次のようになる。

$$S(t) = S_1(t) + S_2(t) \\ = \cos(2\pi f_c t + a_i \pi) + \sin(2\pi f_c t + b_i \pi) \quad \dots (10)$$

デジタル信号の4つの組み合わせに対して4相-P S K信号のスペースダイアグラムを作ると第12図に示すようになる。第12図を原点を中心として $\pi/4$ だけ時計方向に回転させれば第10図と一致し、両図に本質的な差異はない。第12図において、信号が右半分にあれば、第1チャンネルの a_i に関係なく $b_i = 0$ であり、左半分にあれば、 a_i に関係なく $b_i = 1$ である。又、上半分であれば b_i に関係なく $a_i = 0$ であり、下半分であれば、同様に b_i に関係なく $a_i = 1$ である。このように、直交搬送波を用いることによ

り、他チャンネルのデジタル信号の中身に依存しないで独立に自チャンネルのデジタル信号を区別することができる。よって、このような多相位相変調を行うことにより、伝送する情報量を従来と比較して2倍以上にしたり、或いは同じ情報量を伝送するのに要する帯域を従来と比較して1/2以下に小さくすることができ、コヒーレント光通信システムの高速・大容量化が可能になる。

第13図により第1構成の動作原理を説明する。2つのデジタル信号列{a_i}、{b_i}に対し、第1図に示すように、まず搬送波(「搬送波」と「搬送光」は同義である。)に対して{b_i}に従って0- $\pi/2$ の2相位相変調を施す。このとき、第13図(a)に示すように、 $b_i = 0$ に対しては0相、 $b_i = 1$ に対しては $\pi/2$ 相を割り当てる。次に、このように変調された光に対し、デジタル信号{a_i}に従って0- π の2相位相変調を施す。このとき、第13図(b)に示すように、 $a_i = 0$ であれば位相はそのままであり(実線)、 $a_i = 1$ であれば全体を π だけシフトする(破線)。そ

- 23 -

- 24 -

の結果、4相-P S K変調信号の位相は、第13図(b)に示すように、デジタル信号の組(a_i, b_i)に応じた4つの位相に対応する。これを数式で表せば、

$$S(t) = \cos(2\pi f_c t + a_i \pi + b_i \pi/2) \\ = \cos(2\pi f_c t + (a_i \cdot 2^1 + b_i \cdot 2^0) \pi/2) \\ = \cos(2\pi f_c t + k_i (\pi/2)) \quad (k_i = 0, 1, 2, 3) \quad \dots (11)$$

となる。すなわち、2進数 $k_i = a_i \cdot 2^1 + b_i \cdot 2^0$ に従って、位相が $\pi/2$ の k_i 倍シフトすることになる。

ここで0- $\pi/2$ の2相位相変調と0- π の2相位相変調の順番が上記の逆でも構わないことは前述の通りである。

第2構成の動作原理は第1構成の動作原理に準じて理解することができるのでその説明を省略する。

第3構成による4相-P S Kは次のようにして行うことができる。まず、搬送光を2分岐し、その一方のみを $\pi/2$ 位相シフトして、互いに直交関係にある $\cos 2\pi f_c t$ と $\sin 2\pi f_c t$ の2つの

搬送波を作る。そして、それぞれをデジタル信号{a_i}、{b_i}で0- π の2相位相変調を行う。これらを加え合わせた変調出力は、(11)式を参照すると、

$$S(t) = S_1(t) + S_2(t) \\ = \cos(2\pi f_c t + a_i \pi) + \sin(2\pi f_c t + b_i \pi) \\ = \alpha_i \cos 2\pi f_c t + \beta_i \sin 2\pi f_c t \quad \dots (12)$$

となる。ここで、

$$\alpha_i = \begin{cases} 1 & (a_i = 0) \\ -1 & (a_i = 1) \end{cases} \quad \beta_i = \begin{cases} 1 & (b_i = 0) \\ -1 & (b_i = 1) \end{cases}$$

である。この変調方式では、信号 a_i (または α_i)と信号 b_i (または β_i)とが他方のチャンネルの位相に依存しないで伝送されることが特徴である。

第4構成及び第5構成の動作原理は第3構成の原理に準じて理解することができるので、その説明を省略する。

第1構成又は第2構成による場合、それぞれ異なる位相シフト量の2相位相変調器が必要になるが、2ⁿ相位相変調を行うために必要な2相位相

- 25 -

- 26 -

特開平 3-179939(8)

変調器の数が n であるから、少ない数の2相位相変調器で足りる。一方、第3構成、第4構成又は第5構成による場合、 2^n 相位相変調を行うために必要な2相位相変調器の数は 2^{n-1} であるが、これらの2相位相変調器の位相シフト量は同一($0-\pi$)である。

第6構成の動作原理は第1構成又は第2構成の動作原理に準じて理解することができ、第7構成及び第8構成の動作原理は第3構成又は第4構成の動作原理に準じて理解することができる。

実施例

以下本発明のいくつかの望ましい実施例を図面に基づいて説明する。

第14図は第1構成の実施例を示す4相位相変調器の構成図である。この4相位相変調器は、 LiNbO_3 等の電気光学結晶からなる導波路基板32にTi等を拡散させることによって基板32よりも高屈折率な光導波路34を形成し、この光導波路34に電極36を装架して2つの2相位相

変調器2-1, 2を連続接続(直列接続)したものである。38は各電極36に接続された変調回路であり、各チャンネルの入力デジタル信号に応じて電極36に印加する電圧を変化させることによって、それぞれ該当する2相位相変調がなされるようになっている。

高周波変調を行う場合、光波と変調マイクロ波との位相速度のずれが生じるため、変調効率が低下することがある。これを避けるために、本実施例では進行波型の電極構成が採用されている。即ち、光波と変調マイクロ波の伝搬方向を一致させ、電極36を終端抵抗42で終端処理し、光波と変調マイクロ波の速度整合をとるようにしている。

又、本実施例では、直線上の光導波路であることに起因して、各電極装架部への光波の到達時刻が異なるので、電極36への電圧印加のタイミングにずれが生じることがある。そこで本実施例では、光波の伝搬方向下流側に相当する2相位相変調器2-2に、電極36への電圧の印加を光導波路34の伝搬光の遅延時間 τ に応じて遅延させる

- 27 -

- 28 -

遅延回路40を設けている。この構成によると、電極36への電圧印加のタイミングを合わせることができ、高速な位相変調が可能になる。

第15図は第2構成の実施例を示す 2^n 相位相変調器の構成図である。この例では、第1構成の実施例と同様に、電気光学結晶からなる導波路基板32に光導波路34を形成し、この光導波路34に電極36を装架して n 個の2相位相変調器2-1, 2, ..., n を構成し、各電極36に印加する電圧を変調回路38により変化させることによってそれぞれの2相位相変調がなされるようにしている。この実施例でも、第1構成の実施例で説明した理由と同じ理由により各2相位相変調器2-1, 2, ..., n にはそれぞれ遅延回路40が設けられている。この場合、各遅延回路40が与える遅延時間は、電極36の装架位置に応じてそれぞれ異なる($\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$)。

第2構成において $n=3$ とした8相位相変調器を用いて8相-PSK方式を実施した場合のスペクトラムを第16図に示す。この場合 n

$=3$ であるから、3チャンネルのデジタル信号の伝送が可能である。まず、第16図(a)に示すように、第1チャンネルのデジタル信号により($0, \pi/4$)の2相位相変調を行う。次に、第16図(b)に示すように、($0, \pi/2$)の2相位相変調器により、第2チャンネルのデジタル信号に従って、0相に対しては0相と $\pi/2$ 相、 $\pi/4$ 相に対しては $\pi/4$ 相と $3\pi/4$ 相となるように2相位相変調を行う。最後に、第16図(c)に示すように、($0-\pi$)の2相位相変調器により、 $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ 相がそれぞれの位相に対して、第3チャンネルのデジタル信号によってそのままとなるように或いはそれぞれ $\pi, 5\pi/4, 3\pi/2, 7\pi/4$ 相となるように2相位相変調される。これにより8相位相変調出力が得られる。

第17図は第3構成の実施例を示す4相位相変調器の構成図である。この変調器は、 LiNbO_3 等の電気光学結晶からなる導波路基板32にマッハツェンダ型光導波路44を形成し、このマッハツェンダ型光導波路44の2つの分岐導波路44

- 29 -

- 30 -

特開平 3-179939(9)

a, 44bのそれぞれに電極36を装架して2個の2相位相変調器8-1, 2を構成し、電極36に印加する電圧を変化させることにより0- π 、2相位相変調を行うようにしたものである。変調のための印加電圧の変化は変調回路38によりなされる。40は遅延回路であり、電極36への電圧の印加を分岐導波路44a, 44bの伝搬光の遅延時間に応じて遅延させる。遅延回路40を設けているのは、位相シフタ6による位相シフト或いは光導波路の製造誤差に起因する電圧印加タイミングのずれを防止するためである。

この実施例で特徴的なことは、分岐導波路44a, 44bのいずれにも位相シフタを光学的には設けず、オフセット回路46により位相シフタの機能をなしている点である。オフセット回路46は、変調信号に応じて電極36に印加される電圧のAC成分に対してオフセット電圧のDC成分を重ねし、変調による位相変化分を一定にしつつ位相の絶対的変移を調整する。これにより、分岐導波路44a, 44b間には見かけ上光路差が生じ

るので、光学的な位相シフタを設けることなしに、位相シフタと同等の機能を成すことができる。よってこの場合にはマッハツェンダ型光導波路44の製造が容易になる。尚、オフセット電圧の調整によらず、光学的な位相シフタにより位相シフトを与えるようにしてもよい。

第18図は第7構成又は第8構成の実施例を示す2ⁿ相位相変調器の構成図である。この変調器は、電気光学結晶からなる導波路基板32にマッハツェンダ型光導波路44を形成し、このマッハツェンダ型光導波路44の2つの分岐導波路44a, 44bのそれぞれにn個ずつの電極36を装架して2組の第2構成の2ⁿ相位相変調器を構成したものである。それぞれの2ⁿ相位相変調器は、第15図により説明した実施例に準じて構成することができる。この実施例では、前実施例と同様に、オフセット回路46を設けて光学的な位相シフタを不要にするとともに、必要箇所に遅延回路40を設けている。ここで、遅延回路40を設けているのは、位相シフタもしくはそれと同等

- 3 1 -

- 3 2 -

の機能に基づく位相シフトもしくは光導波路の製造誤差に起因する変調信号の印加タイミングのずれ又は分岐導波路44a, 44bがそれぞれ直線上の光導波路であることにより生じる伝搬時間の差に起因する変調信号の印加タイミングのずれを防止するためである。

第17図及び第18図により説明した導波路構成を第4構成又は第5構成に適用する場合には、導波路基板にスター分岐型光導波路対を形成し、このスター分岐型光導波路対間の2ⁿ本の分岐導波路のそれぞれに電極を装架して2ⁿ個の2相位相変調器を構成し、電極に印加する電圧を変化させることにより当該2相位相変調を行うようにすればよい。第4構成及び第5構成においては、位相シフト量が異なる複数の位相シフトが必要であることから、オフセット電圧の調整により位相シフトの機能をなす技術は、導波路構造の簡略化を図る上で極めて重要である。

第4構成又は第5構成を実施する場合には、上述のスター分岐型光導波路対を導波路基板上に平

面的に構成してもよいし、電気光学結晶中に立体的に構成してもよい。

発明の効果

以上説明したように、本発明によれば、多相位相変調器を実現することができ又は多相位相変調器を導波路基板上に実現することができるようになるという効果を奏する。その結果、受光器の単位帯域あたりの伝送容量を増大させ或いは単位伝送容量に対して必要となる受光器の帯域を狭くさせることができ、コヒーレント光通信システムの高速・大容量化に寄与するところが大である。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の第1構成を示す4相位相変調器のブロック図、

第2図は本発明の第2構成を示す2ⁿ相位相変調器のブロック図、

第3図は本発明の第3構成を示す4相位相変調器のブロック図、

- 3 3 -

- 3 4 -

特開平 3-179939(10)

第4図は本発明の第4構成を示す 2^n 相位相変調器のブロック図、

第5図は本発明の第5構成を示す 2^n 相位相変調器のブロック図、

第6図は本発明の第6構成を示す 2^{n+1} 相位相変調器のブロック図、

第7図は本発明の第7構成を示す 2^{n+1} 相位相変調器のブロック図、

第8図は本発明の第8構成を示す 2^{n+1} 相位相変調器のブロック図、

第9図は本発明の第8構成及び第7構成の適用例を示す16相位相変調器のブロック図、

第10図は4相位相変調方式の信号のスペースダイアグラム、

第11図は2つの互いに直交関係にある搬送波の説明図、

第12図は4相-PSK信号のスペースダイアグラム、

第13図は本発明第1構成の動作原理説明図、

第14図は本発明第1構成の実施例を示す4相

位相変調器の構成図、

第15図は本発明第2構成の実施例を示す 2^n 相位相変調器の構成図、

第16図は8相-PSK方式のスペースダイアグラム、

第17図は本発明第3構成の実施例を示す4相位相変調器の構成図、

第18図は本発明第7構成又は第8構成の実施例を示す 2^{n+1} 相位相変調器の構成図、

第19図は従来技術の説明図、

第20図は本発明の第4、第5構成の変形例を示す 2^n 相位相変調器のブロック図である。

32…導波路基板、

34…光導波路、

36…電極、

38…変調回路、

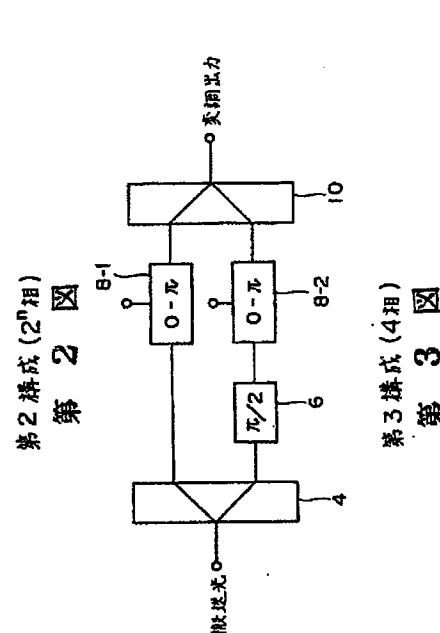
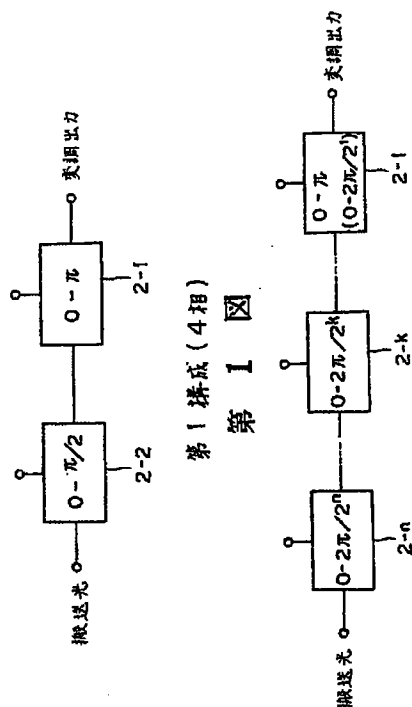
40…遅延回路、

44…マッハツェンダ型光導波路、

46…オフセット回路。

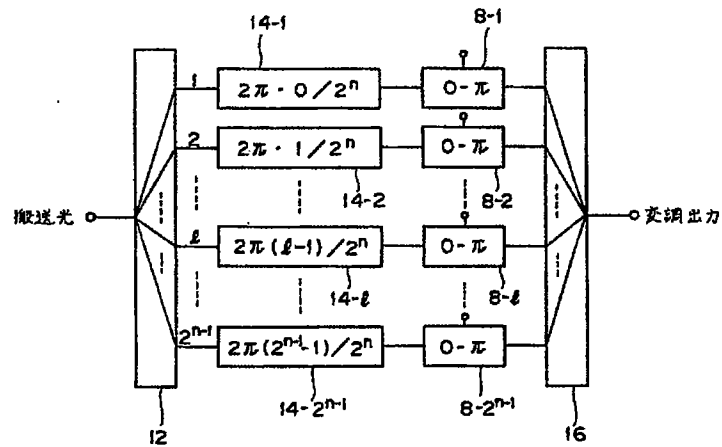
- 35 -

- 36 -

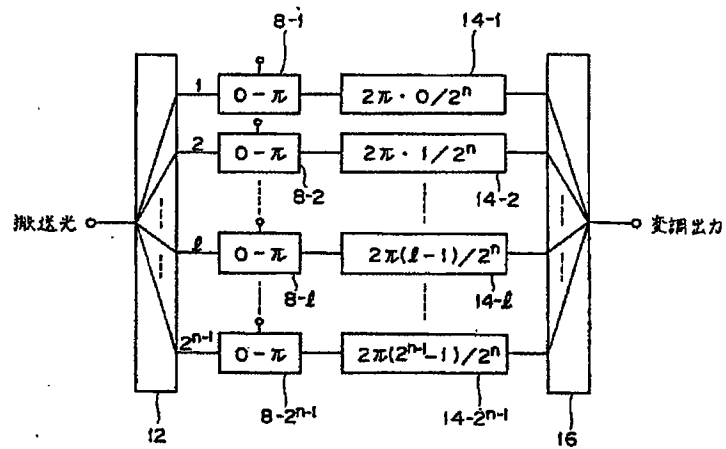


第3構成(4相)
第3図

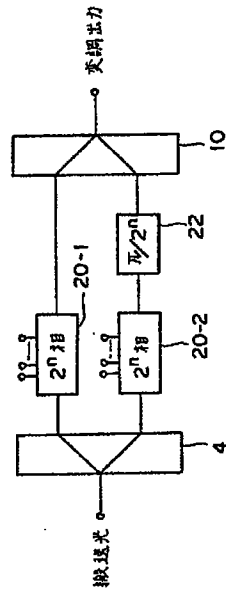
特開平 3-179939(11)

第4構成 (2ⁿ相)

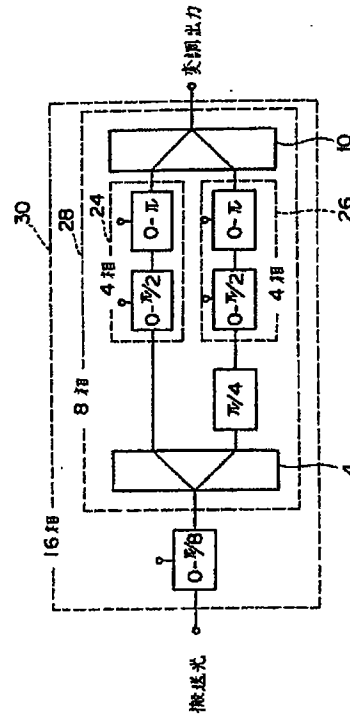
第 4 図

第5構成 (2ⁿ相)

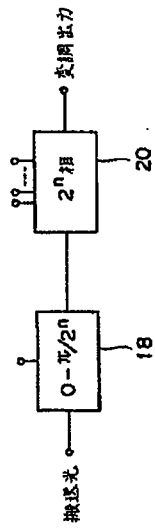
第 5 図



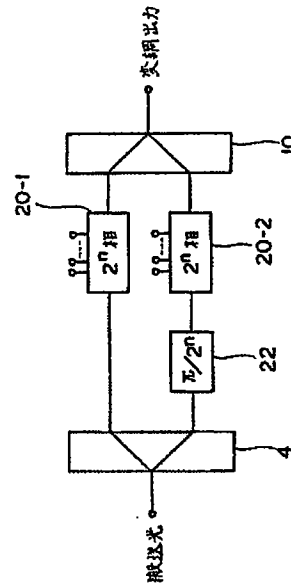
第8構成 (2^{n+1} 相)
第8図



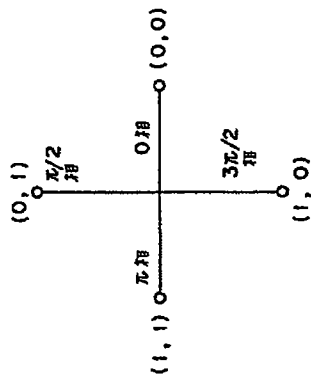
第6構成及び第7構成の適用例を示す図
第9図



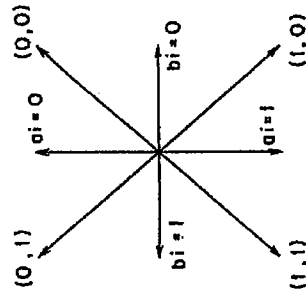
第6構成 (2^{n+1} 相)
第6図



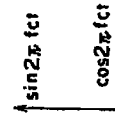
第7構成 (2^{n+1} 相)
第7図



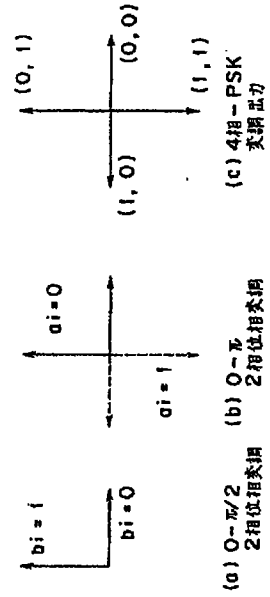
4相位相変調方式の信号のスペースダイヤグラム
第10図



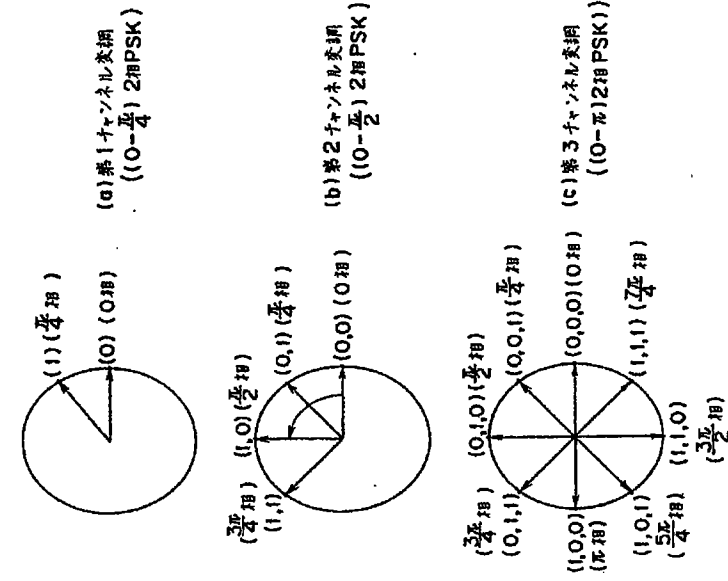
4相-PSK信号のスペースダイヤグラム
第12図



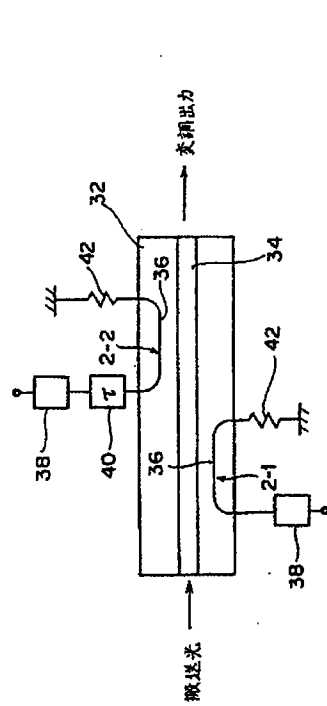
2つの互いに直交関係にある搬送波の説明図
第11図



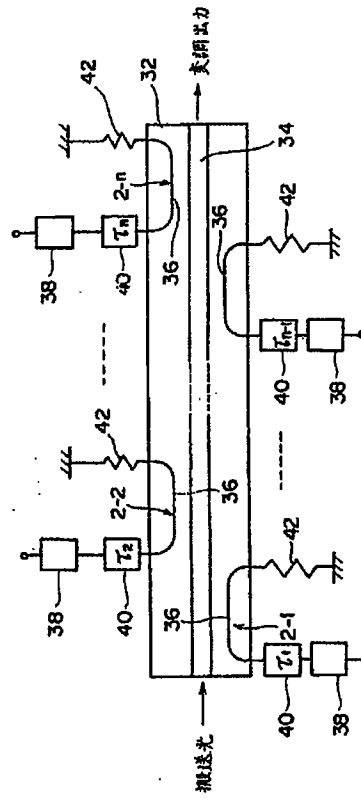
(a) $0-\pi/2$ 2相位相変調
(b) $0-\pi$ 2相位相変調
(c) 4相-PSK 変調波力
第1構成の動作原理説明図
第13図



8相-PSK方式のスペースダイアグラム
第16図

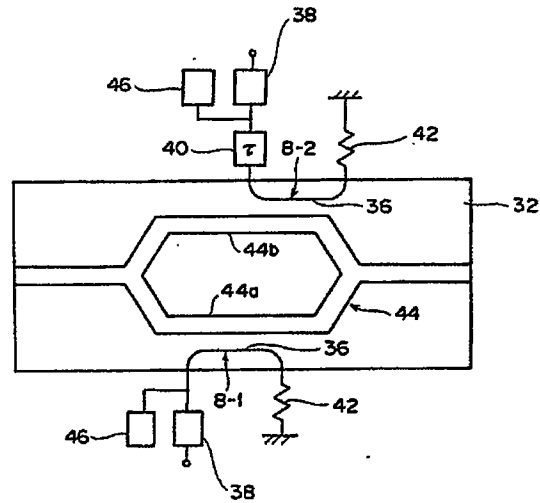


第1構成の実施例図
第14図



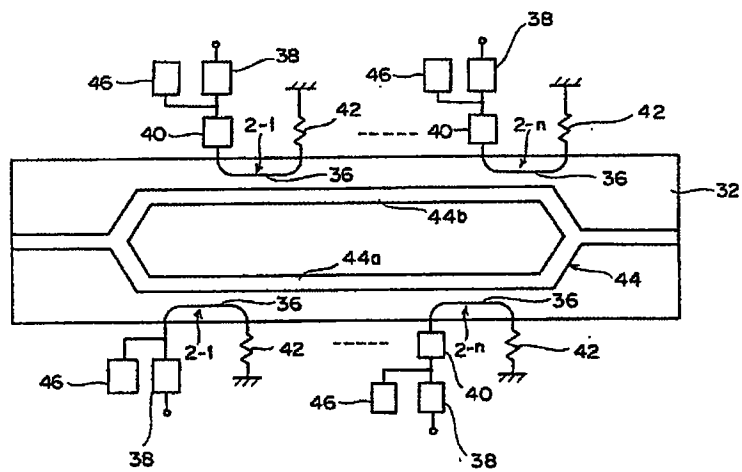
第2構成の実施例図
第15図

特開平 3-179939(15)



第3構成の実施例図

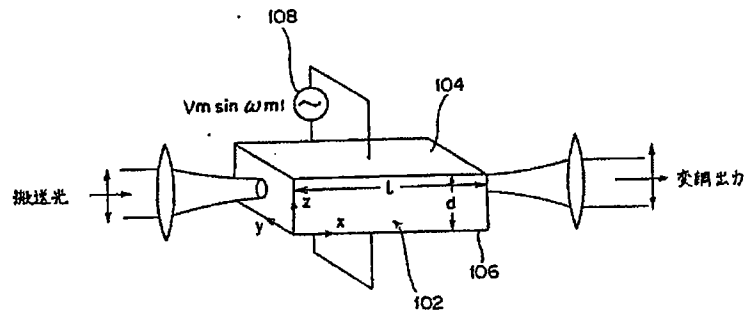
第 17 図



第7構成又は第8構成の実施例図

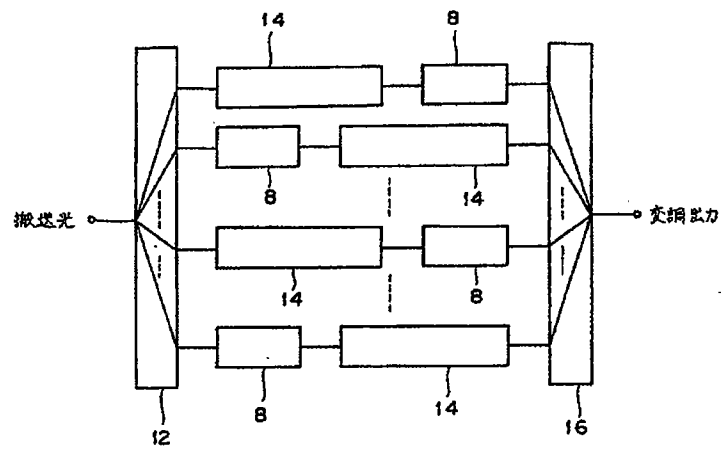
第 18 図

特開平 3-179939(16)



従来技術の説明図

第 19 図

第4, 第5構成の変形例 (2^n 相)

第 20 図

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-179939

(43)Date of publication of application : 05.08.1991

(51)Int.Cl.

H04B 10/04
H04B 10/06

(21)Application number : 01-317580

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 08.12.1989

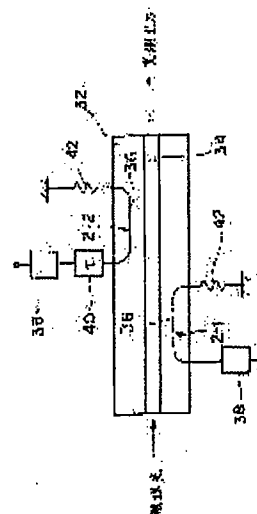
(72)Inventor : WATANABE SHIGEKI
NAITO TAKAO
CHIKAMA TERUMI

(54) POLYPHASE PHASE MODULATOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To contribute to the making of a coherent optical communication system into acceleration and large capacity by comprising a four phase phase modulator by cascade-connecting two two-phase phase modulators which switch the phase of carrier light to a state where shift of π and $\pi/2$ are performed and a state where no shift is performed.

CONSTITUTION: A delay circuit 40 which delays the impression of a voltage to an electrode 36 corresponding to the delay time (τ) of propagation light on an optical waveguide 34 is provided at the two-phase phase modulator 2-2 equivalent to the downstream side in the propagation direction of a light wave, and the timing of the impression of the voltage to the electrode 36 is adjusted. In other words, a poly-phase (four-phase) phase modulator is comprised by forming an optical waveguide 34 with refractive index higher than that of a waveguide substrate 32 by diffusing Ti, etc., on the substrate 32 consisting of electro-optical crystal such as LiNbO₃, etc., and by cascade-connecting the two two-phase phase modulators 2-1, 2-2 by suspending the electrode 36 on the optical waveguide 34. A modulation circuit 38 is a circuit connected to each electrode 36, and it is comprised so that corresponding two-phase modulation can be performed by varying the voltage impressed to the electrode 38 corresponding to the input digital signal of each channel.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]